



## Dificultades en el aprendizaje del concepto concentración: una metasíntesis

### *Difficulties in learning the concept of concentration: a meta-synthesis*

Nayla Traiman-Schroh<sup>1\*</sup>, Andrés Raviolo<sup>1</sup> y Andrea Farré<sup>1</sup>

Recepción: 24/10/21  
Aceptación: 27/12/21

#### Resumen

Presentamos una metasíntesis realizada sobre investigaciones que en 40 años han reportado resultados empíricos relacionados a las dificultades que conlleva el aprendizaje del concepto concentración de disoluciones en niveles medio y superior. Analizamos, de la muestra de artículos, sus enfoques teóricos, métodos y resultados. De la revisión se desprende que el número de investigaciones es exiguo comparado con lo realizado para otros temas y que esta línea no ha tenido continuidad ni progresión en el tiempo. Los resultados muestran que el tema se abordó principalmente desde el marco de las concepciones alternativas describiendo dificultades puntuales muy ligadas a los instrumentos de recolección de datos utilizados en cada estudio.

#### Palabras clave

Metasíntesis, aprendizaje, concentración de disoluciones.

#### Abstract

We present a meta-synthesis carried out from a serious of research that, in the last 40 years, have shown empiric outcomes linked with the difficulties associated with the learning of the concept 'concentration of dissolutions', both in middle and higher educational levels. We analyze, drawing on a sample of papers, their theoretical approaches, methods, and outcomes. We conclude, from this review, that the number of research is exiguous in comparison with other subjects, and that therefore this line of research has not had neither continuity nor progression over time. The results show that this subject has been primarily approached from misconceptions, describing very concrete difficulties associated with data recollection tools used in each study.

#### Keywords

Meta-synthesis, learning, concentration of solutions.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Río Negro, Argentina. \* [ndtraiman@unrn.edu.ar](mailto:ndtraiman@unrn.edu.ar)

## Introducción

La investigación en didáctica de las ciencias centrada en los aprendizajes conceptuales de las y los estudiantes ha sido una de las principales líneas de investigación a nivel internacional (Lampiselkä et al., 2019; Lin et al., 2019) y también a nivel regional (Iturralde et al., 2017). Sin embargo, hablando específicamente de didáctica de la química, no todos los temas han recibido el mismo interés en términos de investigación ya que se encuentra un volumen importante de investigaciones abocadas a determinados temas o conceptos de la química, mientras que otros no han sido indagados de la misma manera. Este es el caso del concepto concentración de disoluciones que, siendo un concepto básico por encontrarse en los programas de asignaturas iniciales de química universitaria, no cuenta con muchas investigaciones que lo aborden de forma exclusiva. Asimismo, no hay publicadas revisiones de la literatura que extraigan o evalúen los resultados de trabajos hasta el momento realizados y esta ausencia es significativa para las autoras y el autor de este trabajo porque, como docentes de asignaturas de química universitarias, lo reconocemos como un concepto problemático para ser aprendido y enseñado.

En función de lo dicho, hay que resaltar que el concepto concentración fue indagado en el ámbito de la investigación en didáctica de la matemática como un caso o un ejemplo de proporcionalidad. Quizás las primeras indagaciones se realizaron en esa disciplina dado que es mencionado en un trabajo de Tourniaire y Polus (1985), en el que revisan 25 años de investigaciones en enseñanza de la matemática sobre razonamiento proporcional. Acordamos en que si bien el concepto de concentración incluye una relación proporcional y en la enseñanza se lo presenta generalmente desde su forma matemática, es un concepto con características que son también necesarias de abordar desde marcos teóricos de la didáctica de la química y no exclusivamente desde la representación matemática. Al respecto, Raviolo y Farré (2020) enumeran algunos aspectos del tema concentración de disoluciones a los que habría que prestar atención en la enseñanza.

En acuerdo con Lampiselkä et al. (2019), consideramos que uno de los objetivos de la investigación en educación en ciencias naturales es lograr una comprensión holística de un área determinada de trabajo para obtener conocimiento profundo sobre la misma. Esta comprensión requiere de un abordaje sistemático de esa área de investigación, como puede ser el aprendizaje de un concepto considerado relevante en la enseñanza, como es el de concentración de disoluciones. Es por ello que, con el propósito de caracterizar el estado de conocimiento sobre el tema, este trabajo tiene como objetivo identificar los artículos publicados sobre el aprendizaje de dicho concepto en los niveles secundario y superior, así como analizar y sintetizar los enfoques teóricos que sustentan las investigaciones, los métodos utilizados por cada uno y los resultados reportados.

## Método

El método elegido para cumplir con el objetivo de este trabajo es la metasíntesis, un método de análisis cualitativo que busca construir una nueva interpretación de un conjunto de investigaciones anteriores en un área de interés determinado. A diferencia de las revisiones de literatura, busca una comprensión más profunda al interpretar los hallazgos previos permitiendo una evaluación inductiva de patrones y conceptos (Leary y Walker, 2018).

Esta opción metodológica fue adoptada porque la muestra abarca hallazgos aislados y contextualmente distintos y, según Finlayson y Dixon (2008), se trata de uno de los casos en donde se puede utilizar a la metasíntesis como una base para interpretar este tipo de información que puede considerarse valiosa y agregarse a la evidencia. La estrategia llevada adelante se basó, en primer lugar, en construir criterios de inclusión de artículos en la muestra y la localización de los mismos. En segundo lugar, se seleccionó como técnica analítica el análisis de casos cruzados para identificar categorías en estudios individuales que luego fueron comparadas y reformuladas (Finlayson y Dixon, 2008) y finalmente se realizó lo que Walsh y Downe (2005) denominan “synthesis of translation”. Esta fase final consta de la síntesis de las interpretaciones realizadas y es en donde surge un mayor consenso en cuanto a las categorías centrales y éstas se terminan de refinar.

Cabe aclarar que el enfoque desarrollado en este trabajo se diferencia de las metasíntesis más tradicionales porque incluye también estudios primarios cuantitativos. Esta decisión se fundamenta en que el análisis que se pretende desarrollar tiene un interés crucial en una temática, por lo que no se incluyen solamente estudios enmarcados dentro de un mismo paradigma como señalan Walsh y Downe (2005). Además, consideramos que ambos paradigmas, cualitativo y cuantitativo, complementan la mirada sobre el objeto de estudio y no son miradas antagónicas.

### **Muestra**

Empleamos tres criterios para la selección de los artículo: (1) que fueran investigaciones publicadas en revistas evaluadas por pares, (2) que presentaran resultados a partir de datos primarios y (3) que describieran resultados interpretando o reportando dificultades en el aprendizaje del concepto concentración de disoluciones en el nivel secundario o superior. Así, seleccionamos también aquellos trabajos que evaluaron otros temas y llegaron a conclusiones sobre el aprendizaje de la concentración. Cabe destacar que no se incluyeron criterios de calidad para la exclusión de artículos de la muestra, como sí se realiza en algunas metasíntesis (Finlayson y Dixon, 2008).

En función de los criterios antes descritos, se excluyeron de la selección publicaciones realizadas en libros, tesis de posgrado, conferencias u eventos científicos similares dada la dificultad que puede existir para acceder a este tipo de trabajos.

Aplicamos la búsqueda por palabras claves en español e inglés en: Google Scholar, Scopus, SciELO, Science Direct, Web of Science, Redalyc, DOAJ y Ebsco. Finalmente, en línea con el modelo de búsqueda de información conocido como *berrypicking* (Bates, 1989), analizamos también las citas y referencias de cada artículo encontrado en los buscadores para identificar nuevas fuentes potenciales de interés.

La búsqueda comenzó con la identificación de artículos publicados desde el año 2000 al 2020 pero, debido a que no encontramos más de diez artículos en este periodo según los criterios establecidos anteriormente, ampliamos la muestra al periodo 1980-2020 constituyendo finalmente una muestra de 15 artículos. Si bien puede considerarse que algunos artículos están desactualizados, es interesante a los fines de este trabajo poder establecer una comparativa en tanto desarrollo de la investigación sobre el tema.

## Análisis de datos

Creamos una matriz de resumen analítico del contenido para el análisis cruzado de casos múltiples como proponen Miles et al. (2020). Esta matriz nos permitió agrupar los datos de los distintos casos para su análisis inicial y exploratorio según: año de publicación del artículo, objetivo/s, paradigma, marco teórico/conceptual, método, instrumento, participantes y principales resultados. Luego de explorar la matriz principal construimos meta-matrices descriptivas ordenadas por caso (Miles et al., 2020) para analizar y comparar los distintos casos en función de cuatro elementos que fueron: participantes, marco teórico/conceptual, método y resultados. Estas nuevas meta-matrices contenían los datos de todos los casos organizados según un único elemento de comparación, permitiendo así distinguir similitudes y diferencias.

## Resultados

Los artículos seleccionados en este trabajo cubren investigaciones realizadas en, al menos, diez países distintos<sup>1</sup>, correspondiendo sólo dos artículos a investigaciones realizadas en América Latina y siendo publicados todos ellos en inglés, a excepción del trabajo de Raviolo y Farré (2018). En la tabla 1 se describen los artículos incluidos en el análisis.

Nº de artículo	Año	Autores/as	¿Incluye entre sus objetivos de investigación al concepto concentración?
1	1981	Vincent	Si, específicamente a la molaridad
2	1986	Gabel y Samuel	Si, específicamente a la molaridad
3	1986	Anamuah-Mensah	Si, específicamente a la molaridad
4	1995	Niaz	No
5	1999	Heyworth	Si
6	2002	Mulford y Robinson	No
7	2008	Dahsah y Coll	No
8	2008	Dahsah, Coll, Sung-ong, Yutakom y Sanganruang	No
9	2009	Devetak, Vogrinc y Glažar	No
10	2010	Çokadar	No
11	2012	Adadan y Savasci	Si
12	2012	de Berg	No
13	2016	Chong	Si
14	2018	Raviolo y Farré	Si, específicamente a la molaridad
15	2019	Chong, Goolamally y Leong	Si

**TABLA 1:** Artículos incluidos en la metasíntesis.

Entre los artículos que describen el nivel educativo de las y los participantes, 8 corresponden a investigaciones realizadas en nivel secundario y 6 a investigaciones realizadas en el nivel universitario.

Algo que se puede distinguir en la tabla 1 es que hay discontinuidades en la investigación sobre el tema, que se aprecia si consideramos que entre los trabajos que incluyen entre sus objetivos al concepto concentración de disoluciones (tabla 1), hay una

<sup>1</sup>El trabajo de Vincent (1981) no describe lugar de investigación y tampoco da información sobre nivel educativo o rango etario de los y las participantes.

diferencia de 13 años entre la publicación de Heyworth (1999) respecto de las primeras indagaciones del tema de los años '80. De la misma manera, entre el trabajo de Heyworth (1999) y uno posterior que se propone investigar el aprendizaje de la concentración, que es el trabajo de Adadan y Savasci (2012) transcurren otros 13 años.

Otro aspecto a destacar es que 7 estudios de la muestra incluyen en sus resultados aspectos relacionados al aprendizaje del concepto concentración aunque no haya sido un objetivo de investigación. Estos trabajos se enfocan en otros temas como estequiometría, las disoluciones en general, el proceso de disolución, la solubilidad o el análisis volumétrico.

### Enfoques teóricos y métodos

Respecto a los marcos teóricos que guían las distintas investigaciones, hay un predominio de artículos orientados a detectar y describir concepciones alternativas de las y los estudiantes (tabla 2). Se distingue también que la predominancia de este marco teórico ocurre en los trabajos entre 2002 y 2019, mientras que varios artículos anteriores se centran en marcos conceptuales orientados a comprender la resolución de problemas y su papel en el aprendizaje de los conceptos.

**TABLA 2:** Enfoques teóricos de los artículos analizados.

N° de artículo	Enfoque teórico/conceptual
1, 6, 7, 10, 12, 13	Concepciones alternativas
11, 15	Concepciones alternativas y múltiples niveles de representación de la química.
8	Concepciones alternativas y cambio conceptual
4	Marco lakatosiano (filosofía de la ciencia aplicada a la investigación educativa). Resolución de problemas algorítmicos y conceptuales.
5	Resolución de problemas relacionado a la memoria de trabajo y memoria de largo plazo
9	Niveles de representación de la química. Teoría del aprendizaje multimedia. Aprendizaje significativo.
14	Resolución de problemas algorítmicos/conceptuales
2, 3	No explícita

El primer elemento que destaca en la comparación de paradigmas e instrumentos utilizados (tabla 3) es en relación a los instrumentos. Predomina la utilización de ejercicios de resolución numérica (6 artículos) y cuestionarios de opción múltiple (4 artículos).

**TABLA 3:** Paradigmas e instrumentos utilizados en las investigaciones analizadas..

Paradigma	N° de artículo	Instrumento
Cualitativo	1	Ejercicios de resolución numérica. Incluye elección de respuestas incorrectas y justificación.
	3	Ejercicios de resolución numérica y entrevista de resolución de problemas en voz alta.
	5	Ejercicios de resolución numérica y dos tipos de entrevistas (de resolución de problemas en voz alta y otras con preguntas de sondeo cuando ya habían resuelto el ejercicio).
	4, 8	Ejercicios de resolución numérica

Cuantitativo	2	Pruebas con ejercicios de química y con ejercicios de problemas análogos (usando limonada como analogía de solución química)
	11	Cuestionario de opción múltiple en 2 niveles (selección de una respuesta y selección de la justificación).
	13	Ejercicios de resolución numérica
Mixto	6	Cuestionario de opción múltiple y entrevistas posteriores.
	9	Prueba de lápiz y papel con representaciones submicroscópicas y entrevistas
	7	Cuestionario de opción múltiple con un segundo nivel, con preguntas de explicación
	10	Cuestionario de opción múltiple con un segundo nivel, con preguntas de explicación. Pre y post- test
	12	Ejercicios de resolución numérica y preguntas de elección múltiple con representaciones del nivel submicroscópico. Entrevistas posteriores
	14	Cuestionario de opción múltiple y entrevistas de resolución de problemas en voz alta
	15	Prueba con preguntas abiertas

Respecto a los instrumentos y su relación con los enfoques teóricos que sustentan los estudios, el empleo de instrumentos clásicos como cuestionarios estándares y ejercicios tradicionales de química, condiciona los resultados obtenidos. La mayoría de los hallazgos reportados son concepciones alternativas o dificultades puntuales en torno a un ejercicio/problema/pregunta en particular, lo que no es de extrañar si consideramos que la mayoría de los trabajos se desarrolla partiendo del marco teórico de las concepciones alternativas, y aun cuando no se posicionan explícitamente en ese marco, describen resultados en forma similar por las estrategias de recolección de datos seleccionada.

Sumado a lo anterior, todos los trabajos utilizan instrumentos diseñados específicamente para su estudio a excepción de Dahsah et al. (2008) que usa el instrumento desarrollado por Dahsah y Coll (2008). De esto se deriva que cada investigador/a o grupo de investigación se proponen lecturas propias del problema de investigación y sus particularidades, delimitan las dimensiones a considerar que les parecen adecuadas y en función de ello, construyen instrumentos de evaluación propios. La consecuencia de este hecho es la falta de un abordaje sistemático del problema, lo que dificulta poder hacer comparaciones totalmente transversales de los resultados.

### ***Análisis del apartado resultados***

Por lo planteado anteriormente, si bien no se puede hacer una interpretación transversal de los resultados obtenidos en las investigaciones incluidas en este trabajo, es posible hacer una comparación de resultados en términos de desarrollo sobre el tema (tabla 4).

Dificultades		Artículos que reportan la dificultad
Dificultades relacionadas a la falta de conocimiento o la comprensión de las unidades	Dificultades en el uso de %m/m	Adadan y Savasci (2012)
	Desconocimiento de la unidad ppm	Chong et al (2019)
	Dificultades en la comprensión del concepto mol y/o molaridad	Gabel y Samuel (1986) Heyworth (1999) Chong (2019)
	Confusión de mol/dm <sup>3</sup> con molécula/dm <sup>3</sup>	Dahsah y Coll (2008) Dahsah et al. (2008)
Desconocimiento de las relaciones entre las variables involucradas en el concepto	Dificultades en establecer relaciones entre la concentración y el volumen	Anamuah-Mensah (1986)
	Asumir que mayor cantidad de moles implica mayor concentración	Níaz (1995) Dahsah y Coll (2008) Dahsah et al. (2008)
	Asumir que mayor volumen implica mayor concentración	Dahsah y Coll (2008)
	Dificultades en relacionar número de moles y volumen de solución	Chong et al (2019)
	A nivel submicro, consideran el número de partículas sin considerar el volumen	Heyworth (1999) De Berg (2012)
	Dificultades en establecer relaciones entre la concentración, la cantidad de soluto y el volumen	Heyworth (1999)
Confusión conceptual	Confusión entre los símbolos n (número de moles) y m (molaridad) o indiferenciación entre los conceptos concentración molar y número de moles	Vincent (1981) Heyworth (1999) Chong (2016) Raviolo y Farré (2018)
	Confusión entre concentración y densidad	Heyworth (1999)
Relacionan a la concentración con una cantidad de sustancia, no necesariamente disuelta		Cokadar (2010) Mulford y Robinson (2012)
Falta de comprensión conceptual (resuelven con algoritmos memorizados)		Niaz (1995) Heyworth (1999) Cokadar (2010)
Dificultades en resolver problemas que involucran el concepto concentración por no comprender la solubilidad		Niaz (1995) Adadan y Savasci (2012)
Dificultades con los razonamientos de proporcionalidad		Devetak et al. (2009) Adadan y Savasci (2012) de Berg (2012)
Falta de comprensión de las soluciones a nivel submicroscópico		Adadan y Savasci (2012)

**TABLA 4:** Resultados agrupados de los artículos incluidos en la metasíntesis.

Se puede observar, en los resultados de las investigaciones, la descripción de dificultades similares que son reportadas en distintos trabajos y, al mismo tiempo, dificultades que son de naturaleza distinta. Por ejemplo, si observamos las dos dificultades mayormente reportadas, cada una debería atenderse en la enseñanza de manera muy distinta. Por un lado, tenemos que existen dificultades debido a la falta de conocimiento o comprensión de las unidades de concentración (especialmente la molaridad) y, por otro lado, tenemos que las dificultades encontradas se asocian a la falta de reconocimiento de las relaciones entre las variables involucradas en el concepto.

Además, existen menciones sobre los razonamientos de proporcionalidad como obstáculo para las y los estudiantes, aspecto que dificultaría la comprensión de la concentración por ser una relación proporcional. No obstante, un aspecto a discutir en esta categoría es si ha sido lo suficientemente indagada ya que, en contraposición, el trabajo de Raviolo y Farré (2018) presenta un instrumento de relación cualitativa entre las variables involucradas en el concepto de concentración que requieren de razonamientos de proporcionalidad directa e inversa además de operar con la unidad molaridad (y, por ende, con número de moles de soluto y volumen de solución en mililitros). En este trabajo, cuyo instrumento puede detectar directamente si las dificultades son exclusivamente los razonamientos de proporcionalidad, no lo identifican como tal, sino que asocian las dificultades a las variables involucradas en el razonamiento. Por su parte, los trabajos que abordan representaciones de partículas, como los de Devetak et al. (2009) y de Berg (2012), mencionan que una dificultad sobre el trabajo con esas representaciones es el razonamiento proporcional aunque pudieron haber surgido también por las mismas representaciones y su naturaleza, como lo indican Adadan y Savasci (2012) aunque refieren a las dos causas: habilidades de razonamiento proporcional (citando al trabajo de Devetak et al. de 2009) y dificultades en la comprensión de las soluciones a nivel submicroscópico.

Es interesante destacar que investigaciones que sustentan marcos teóricos diferentes culminan expresando sus resultados como concepciones alternativas específicas, como es el caso del trabajo de Devetak et al. (2009). A pesar de desarrollar en su marco teórico la teoría del aprendizaje multimedia, el aprendizaje significativo, los distintos niveles de representación de la química, entre otros conceptos teóricos, interpreta sus resultados como concepciones alternativas y describe dificultades muy específicas que no son analizadas a la luz de los marcos teóricos propuestos inicialmente.

## Conclusiones y discusión

Como resultado de la búsqueda efectuada se encontró un número reducido de publicaciones que dan cuenta de investigaciones sobre el aprendizaje del concepto de concentración, comparado con los resultados obtenidos de revisiones realizadas para otros conceptos químicos. Por ejemplo, en la revisión llevada a cabo por Raviolo y Martínez Aznar (2003) sobre las investigaciones empíricas sobre el aprendizaje del equilibrio químico se hallaron 27 artículos publicados hasta el año 2000 inclusive, mientras que en el caso del concepto concentración encontramos solo 5 en el mismo periodo de tiempo. Este es un resultado a prestar atención dado que el concepto de concentración es un concepto básico y prerrequisito para abordar otros conceptos como el equilibrio químico. De hecho, la confusión o indiferenciación entre cantidad de soluto y concentración es mencionada en ese artículo por 7 investigaciones como una dificultad para el aprendizaje del equilibrio

químico.

A partir de la revisión de los resultados, se obtuvo que se han descrito principalmente concepciones alternativas o dificultades muy específicas ligadas al instrumento de recolección de datos utilizado en cada estudio. Es interesante destacar que a pesar de la gran variación de contextos en los que se desarrollaron los estudios, tanto en distribuciones geográficas, rangos etarios y nivel educativo, los resultados obtenidos en términos de aprendizaje del concepto concentración son similares y se reportan, en varios trabajos, las mismas observaciones. Este hallazgo, lejos de sugerir generalizaciones que homogeneicen las condiciones y características de los aprendizajes en entornos de educación formal, puede estar mostrando que la complejidad de aprender el concepto en términos disciplinares no se ha analizado en detalle. Es decir, además de las características contextuales del aprendizaje, la disciplina tiene particularidades que tienen que ser atendidas también en relación al concepto concentración.

En este sentido, se reconoce que una de las principales preocupaciones de la didáctica de las ciencias luego de los años '90, en revistas internacionales especializadas, ha sido la identificación y reporte de concepciones alternativas de estudiantes de distintos niveles educativos en el aprendizaje de temas particulares (Lin et al., 2019). Esta tendencia es también evidente en el tema indagado en este trabajo, continuando también luego del año 2000, por lo que se han descrito una variedad de dificultades muy específicas sin prestar atención en la mayoría de los casos a los razonamientos u obstáculos que subyacen a estas dificultades. El enfoque de concepciones alternativas ha sido criticado ampliamente por brindar listados de conceptos erróneos específicos sin ser demasiado útiles para el diseño de propuestas de enseñanza que podrían enfocarse en los obstáculos que subyacen a las dificultades específicas. Se asume para este trabajo, además, que las propuestas de enseñanza basadas en el modelo de cambio conceptual que resulta de considerar el inventario existente de concepciones alternativas es reduccionista en términos de aprendizaje y no considera la complejidad que este proceso implica.

Podemos decir que el concepto concentración no ha sido considerado al interior de la didáctica de la química como un concepto con la misma importancia que otros para ser investigado. Una hipótesis al respecto es que en los libros de texto y en la enseñanza frecuentemente se presenta como una operación matemática para ser utilizada en otros temas más generales de la química. Por ello, es un concepto percibido con poca jerarquía para ser considerado en investigaciones que se orienten exclusivamente a comprender la enseñanza o el aprendizaje del mismo. Sin embargo, como ya se mencionó, los obstáculos al respecto se manifiestan de forma evidente en investigaciones de conceptos químicos donde se debe aplicar el concepto de concentración.

En contraposición a considerar al concepto exclusivamente desde su definición matemática sostenemos que, debido a los resultados reportados que muestran lo problemático del concepto para ser aprendido, su enseñanza debe ser abordada con objetivos que atiendan a la complejidad que el mismo requiere, atendiendo a las diversas aristas indagadas hasta ahora, con mayor potencia teórica y metodológica que los estudios desarrollados hasta el momento. Las investigaciones han explorado de manera muy incipiente el aprendizaje del concepto concentración, muchas veces centrado en la magnitud molaridad, y con períodos de tiempo tan amplios entre uno y otro que siempre se lo ha retomado de manera exploratoria desde nuevos puntos de vista teóricos, nuevas

preguntas de investigación y nuevos métodos, sin realizar el abordaje sistemático que requeriría comprender en profundidad el aprendizaje del concepto para teorizar sobre su enseñanza o, en otras palabras, sin buscar una comprensión holística del tema.

En esta línea, es interesante mencionar que la mayoría de los trabajos están orientados a contemplar; en un primer momento, el rendimiento en la resolución de problemas y ejercicios. Por este motivo, un desafío para futuras investigaciones puede ser analizar de qué manera indagar más profundamente los aprendizajes, sin hacer tanto hincapié en el rendimiento. Así, sería necesario reconsiderar los instrumentos para la recolección de datos que permitan trasladar la atención del rendimiento a los distintos modos de construir conocimiento por parte de las y los estudiantes.

Asimismo queda pendiente discernir si el concepto de concentración tiene características que resultan complejas de ser aprendidas independientemente de la unidad o si la complejidad se asocia particularmente al uso de las unidades de concentración, como por ejemplo, la concentración molar.

## Referencias

- Adadan, E., y Savasci, F. (2012). An analysis of 16–17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.636084>
- Bates, M. J. (1989). The design of browsing and berrypicking techniques for the online search interface. *Online Review*, 13(5), 407-424. <https://doi.org/10.1108/eb024320>
- Chong, S. H. (2016). Wither the concepts of mole and concentration: conceptual confusion in applying  $M_1V_1 = M_2V_2$ . *Universal Journal of Educational Research*, 4(5), 1158-1162. <https://doi.org/10.13189/ujer.2016.040527>
- Chong, S. H., Goolamally, N., y Leong, K. E. (2019). Post-secondary science students' understanding on mole concept and solution concentration. *Universal Journal of Educational Research*, 7(4), 986-1000.
- Çokadar, H. (2010). First year prospective teachers' terceptions of chemical solution types and solubility. *Asian J. Chem.*, 22(1), 11.
- Dahsah, C., y Coll, R. K. (2008). Thai grade 10 and 11 students 'understanding of stoichiometry and related concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 573-600.
- Dahsah, C., Coll, R. K., Sung-ong, S., Yutakom, N., y Sanguanruang, S. (2008). Enhancing grade 10 Thai students' stoichiometry understanding and ability to solve numerical problems via a conceptual change perspective. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 31(1), 1-43.
- de Berg, K. (2012). A study of first-year chemistry students' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(1), 8-16.

- Devetak, I., Vogrinc, J., y Glažar, S. A. (2009). Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. *Research in Science Education*, 39(2), 157-179.
- Gabel y Samuel (1986). High school students' ability to solve molarity problems and their analog counterparts. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2). 165-176.
- Finlayson, K. W., y Dixon, A. (2008). Qualitative meta-synthesis: A guide for the novice. *Nurse Researcher*, 15(2), 59-71. <https://doi.org/10.7748/nr2008.01.15.2.59.c6330>
- Heyworth, R. M. (1999). Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, 21(2), 195-211. <https://doi.org/10.1080/095006999290787>
- Iturralde, M. C., Bravo, B. M., y Flores, A. (2017). Agenda actual en investigación en didáctica de las Ciencias Naturales en América Latina y el Caribe. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 19(3), 49. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.3.905>
- Lampiselkä, J., Kaasinen, A., Kinnunen, P., y Malmi, L. (2019). Didactic focus areas in science education research. *Education Sciences*, 9(4), 294. <https://doi.org/10.3390/educsci9040294>
- Leary, H., y Walker, A. (2018). Meta-analysis and meta-synthesis methodologies: rigorously piecing together research. *TechTrends*, 62(5), 525-534. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0312-7>
- Lin, T.-J., Lin, T.-C., Potvin, P., y Tsai, C.-C. (2019). Research trends in science education from 2013 to 2017: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 41(3), 367-387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., y Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (Fourth edition). SAGE.
- Mulford, D. R., y Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739.
- Niaz, M. (1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakotian interpretation. *Science Education*, 79, 19-36.
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), 60-66. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2003.3.66244>
- Raviolo, A., y Farré, A. (2018). Razonando con molaridad. *Educación en la Química*, 24(2), 126-136.
- Raviolo, A., y Farré, A. (2020). Aprendizaje conceptual del tema concentración de disoluciones: análisis de imágenes de libros de texto universitario. *Educación Química*, 31(3), 119-133. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.3.75733>

Vincent, A. (1981). Volumetric concepts–student difficulties. *Education in Chemistry*. 18 (4), 114-115.

Walsh, D., y Downe, S. (2005). Meta-synthesis method for qualitative research: A literature review. *Journal of Advanced Nursing*, 50(2), 204-211. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03380.x>